Boll. Soc. Hist. Nat. Balears. 25 (1981): 31-38. Palma de Mallorca

PRIMERAS MEDIDAS DE IRRADIACION SOLAR EN PALMA DE MALLORCA RELACION CON LA INSOLACION.

JOSÉ A. GUIJARRO[1]

RESUMEN. Se presentan los datos horarios, diarios y mensuales de los primeros cinco años de observación de la irradiación solar en Palma de Mallorca, tanto en sus valores medios como en los de días despejados. Los valores diarios (G) se relacionan linealmente con la insolación relativa (I_r) según: $G = G_0$ (0,22 + 0,48 I_r), con un coeficiente de correlación de 0,93. (G_0 = Radiación solar extraterrestre). Esta expresión también es aplicable a medias mensuales, y ratifica anteriores estimaciones de la irradiación solar en Baleares.

ABSTRACT. Hourly, daily and monthly data from the first five years of observation of solar irradiation at Palma de Mallorca are presented as both average values and those from cloudless days. Daily values (G) are linearly related with relative sunshine duration (I_r) in accordance with: $G = G_0$ (0.22 + 0.48 I_r), with a correlation coefficient of 0.93. (G_0 = Extraterrestrial Solar Radiation). This expression is also applicable to monthly averages, and ratifies former estimations of solar irradiation at the Balearic Is.

RESUM. Es presenten les dades horàries, diàries i mensuals dels cinc anys primers d'observació de la irradiació solar a Palma de Mallorca, tant en els seus valors mitjans com els de dies estirats. Els valors diaris (G) es relacionen linealment amb la insolació relativa (I_r) segons $G = G_0$ (0,22 + 0,48 I_r), amb un coeficient de correlació de 0,93 (G_0 = radiació solar extraterrestre). Aquesta expressió també és aplicable a les mitjanes mensuals, i ratifica estimacions anteriors de la irradiació solar a les Balears.

INTRODUCCION

La radiación solar recibida en un lugar (o irradiación solar de dicho lugar) es un elemento climático de primer orden, por ser con mucho la prin-

[1] Centro Meteorológico Zonal, Palma de Mallorca.

cipal entrada de energía con que cuentan los sistemas naturales. No obstante, debido a que precisa de instrumental algo sofisticado su medida era poco frecuente hasta hace poco tiempo, teniendo que recurrir a fórmulas empíricas para obtener una estimación de la misma, generalmente en función de la insolación relativa o la nubosidad. A mediados de la pasada década el Instituto Nacional de Meteorología puso en marcha una red radiométrica nacional, constituída por 14 estaciones de primer orden y 30 de segundo, diferenciándose por el tipo de instrumento empleado, más preciso en las primeras. Palma de Mallorca fué uno de los lugares elegidos como estación de primer orden, empezando a obtener datos de irradiación en mayo de 1975. (El aeropuerto de Mahón, como estación de segundo orden, completa la lista de estaciones radiométricas de Baleares). El instrumento empleado es un piranómetro termoeléctrico tipo Moll-Gorczinski, de la casa Kipp & Zonen, acoplado a un registrador galvanométrico, y las bandas registradoras se evalúan posteriormente integrando las curvas de hora en hora mediante una plantilla.

Al haberse completado en abril de 1980 los cinco primeros años de observación, se ha considerado interesante efectuar un análisis de estos datos, que además de aportar las primeras medidas de irradiación realizadas en Baleares, permitirán revisar la validez de las estimaciones efectuadas anteriormente.

MEDIDAS OBTENIDAS

En la tabla 1 se dan los valores diarios medios mensuales con su desviación típica y su coeficiente de variación, así como el máximo registrado en un día. Los valores están expresados en Langlios por día (1 Ly = 1 cal/cm^2),

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
G	167	226	366	424	505	560	566	493	389	273	204	150	360
s	64	81	106	138	132	117	89	92	97	92	54	54	93
cv	38	36	29	33	26	21	16	19	25	34	26	36	26
GM	286	376	518	601	670	700	673	635	524	424	295	232	700

TABLA 1

Irradiación Solar Global en Palma de Mallorca (1975-80), en Ly/día. (G= Irradiación media; GM = Irradiación máxima registrada; s = desviación típica; cv = coeficiente de variación, en %).

y corresponden a la radición solar global (directa más difusa) recibida por una superficie horizontal. Los valores medios oscilan entre los 150 Ly/ día de diciembre y los 566 de julio, siendo el máximo valor diario registrado de 700 Ly. El coeficiente de variación presenta un mínimo en verano, como sería de esperar debido a la menor ocurrencia de perturbaciones armosféricas en esa estación.

No obstante los valores diarios de irradiación no siguen en Palma una distribución normal, sino que los valores más frecuentes (la moda) son superiores a la media, como puede verse en la tabla 2, en la que se dan las frecuencias relativas de los valores diarios en marcas de clase de 50 Ly.

Langlios	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
700-749						1						
650-699					5	20	11					
600-649				1	29	32	31	3				
550-599				18	17	13	33	23				
500-549			3	16	7	7	9	34	5			
450-499			23	19	10	7	5	19	27			
400-449			18	11	10	7	5	6	26	5		
350-399		3	21	7	6	3	2	6	15	20		
300-349		19	12	9	6	6	2	3	9	18		
250-299	3	23	9	4	4	3	1	3	6	22	24	
200-249	37	17	5	5	3	0	0	1	7	15	34	19
150-199	25	18	4	3	2	1	1	2	3	8	30	39
100-149	16	13	3	5	1				1	8	7	23
50- 99	14	6	2	1					1	3	4	15
0- 49	5	1		1						1	1	4

TABLA 2

Valores diarios de Irradiación Solar Global (Palma de Mallorca, 1975-80): Frecuencias relativas en %.

En la tabla 3 se presentan los valores medios horarios de irradiación recibida en los diferentes meses del año. Los valores más altos se dan lógicamente en las horas centrales del día, siendo tanto mayores cuando más cerca se hallan del solsticio de verano.

A lo largo de los cinco años de observación objeto de este trabajo han sido seleccionados 114 días despejados cuya gráfica radiométrica se presenta sensiblemente uniforme. Los valores horarios de irradiación de estos días han sido promediados por meses, y las medias obtenidas se han referido al día 15 de cada mes por proporcionalidad con la radiación que se recibiría en ausencia de atmósfera. Con los datos normalizados de este modo, se ha confeccionado la tabla 4, donde además de los valores horarios se dan los totales diarios y el número de días despejados empleados en el cálculo. Los valores horarios presentan una gran simetría respecto del mediodía, pero los valores de la tarde son ligeramente inferiores, lo que parece indicar que la transparencia atmosférica va disminuyendo al ir avanzando el día, probablemente debido a un aumento del número de partículas en suspensión en la atmósfera por efecto de una mayor turbulencia diurna del aire.

	4				8				12				16			20 Horas (T.S.V.)
Ene	-	-	-	3	11	20	25	28	27	24	18	9	2	-	-	-
Feb	-	-	1	7	17	26	32	35	34	30	24	15	6	0	-	-
Mar	-	0	5	16	29	39	47	51	51	47	37	27	14	4	0	-
Abr	-	2	11	22	34	44	51	54	53	49	41	32	20	9	1	-
May	0	5	15	28	40	49	57	60	61	57	48	39	27	14	4	0
Jun	1	8	19	32	44	55	63	66	65	60	53	42	30	17	6	0
Jul	0	7	19	32	45	55	64	67	67	61	54	44	31	17	6	0
Ago	-	4	13	27	39	51	58	62	61	56	48	37	25	11	2	-
Sep	-	0	7	19	31	43	49	53	51	47	39	28	15	5	0	-
Oct	-	-	2	10	20	30	37	41	41	37	28	18	8	1	-	-
Nov	-	-	-	5	14	23	31	34	34	28	21	12	3	-	-	-
Dic	-	-	-	2	8	17	23	26	27	23	15	7	1	-	-	-

TABLA 3

Valores medios horarios de Irradiación Solar Global, en Langlios (Palma de Mallorca, 1975-80).

Horas (T.S.V.)

	4				8				12				16				20 Total
Ene (4)	-	-	-	3	14	25	33	38	38	34	24	12	2	-	-	-	223
Feb (3)	-	-	1	11	25	37	46	50	50	46	36	23	9	0	-	-	334
Mar (8)	-	0	6	20	35	47	56	60	60	55	45	32	18	5	0	-	439
Abr (8)	-	3	15	31	45	58	66	71	71	66	57	45	29	13	2	-	572
May (7)	-	6	20	36	51	62	71	76	76	71	61	49	34	19	5	-	637
Jun (8)	1	9	23	39	52	63	72	76	76	71	62	50	36	30	7	1	668
Jul (24)	0	8	21	36	49	61	69	74	74	69	60	48	34	19	6	0	628
Ago (16)	-	4	16	30	44	56	65	70	69	65	56	43	29	14	3	-	564
Sep (12)	-	0	8	22	37	49	57	62	62	57	47	34	19	6	0	-	460
Oct (9)	-	-	3	13	27	39	47	52	51	47	37	25	11	2	-	-	334
Nov (6)	-	-	-	5	17	29	37	42	42	37	28	16	4	-	-	-	257
Dic (9)	-	-	-	3	13	24	32	36	36	31	22	11	2	-	-	-	210

TABLA 4

Valores medios horarios (Ly) y mensuales (Ly/día) de Irradiación Solar Global en días despejados (Palma de Mallorca, 1975-80. Entre paréntesis: número de días empleado en los calculos).

RELACION CON LA INSOLACION

Obviamente la radiación incidente en un lugar ha de depender de algún modo de la nubosidad reinante N, o de la insolación relativa I_r. Esta última se puede definir como la relación entre la insolación absoluta registrada y la máxima posible teóricamente, y se suele preferir como variable de partida para la estimación de la irradiación por provenir de medidas contínuas en lugar de valoraciones visuales a horas fijas como la nubosidad. De hecho una evaluación menos subjetiva de la nubosidad media se puede obtener precísamente a partir de la propia insolación relativa mediante la sencilla relación: $N = 1 - I_r$, donde N viene expresado como fracción media de cielo cubierto por nubes.

Así pues, las primeras expresiones empleadas para la estimación de la irradiación global G (KIMBALL, 1919; ANGSTROM, 1924) se basaban en la relación lineal: $G = G_d\ (c + (1-c)\ I_r)$, donde G_d es la irradiación global media

en días despejados, y la constante empírica c representa una especie de coeficiente de transparencia atmosférica a través de una capa de nubes de espesor medio (RIETVELD, 1978). Sin embargo, debido a que en gran parte de los observatorios de las latitudes medias resulta difícil encontrar un número suficiente de días absolutamente despejados para la determinación de G_d, se encontró mas práctico emplear como referencia la radiación que se recibiría en ausencia de atmósfera G_0 (PRESCOTT, 1940; BLACK *et al.*, 1954), con lo que la nueva relación lineal adopta la forma: $G = G_0 (a + b \cdot I_r)$. La significación de las nuevas constantes a y b queda de manifiesto en los días completamente cubiertos (cuando $I_r = 0$), en que a representa la proporción de G_0 que llega al suelo, y b la que es absorbida por las nubes (RIETVELD, *op. cit.*). Es esta expresión, de uso ampliamente extendido, la elegida para ser aplicada a los datos del observatorio de Palma. Para ello se confeccionó una muestra con los días 5, 10, 15, 20 y 25 de cada mes, para los cuales se calculó la relación G/G_0. Los valores de la irradiación solar en ausencia de atmósfera G_0, también conocida como radiación solar extraterrestre, están tabulados en las Smithsonian Meteorological Tables, pero no habiendo tenido acceso a ellas se optó por calcularlos a partir de las expresiones correspondientes (KONDRATYEV, 1969; ONRUBIA *et al.*, 1976) para una latitud de 39,5°.

Con los valores de G/G_0 obtenidos y los correspondientes datos diarios de insolación relativa se realizó un análisis de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados, obteniendo así los valores de las constantes a y b. En la tabla 5 se relacionan estos valores para cada mes, junto con los coeficientes de correlación. Para todo el conjunto de datos diarios (300 en total) las constantes toman los valores: a = 0,22; b = 0,48; con un coeficiente de correlación de 0,93.

	a	b	r
Ene	0,20	0,45	0,97
Feb	0,22	0,44	0,92
Mar	0,22	0,54	0,93
Abr	0,21	0,51	0,92
May	0,23	0,50	0,91
Jun	0,23	0,49	0,92
Jul	0,17	0,55	0,96
Ago	0,24	0,44	0,96
Sep	0,20	0,52	0,91
Oct	0,21	0,49	0,94
Nov	0,23	0,43	0,91
Dic	0,23	0,45	0,95

TABLA 5

Valores mensuales de los coeficientes a y b de la fórmula de Prescott, y coeficiente de correlación r, para Palma de Mallorca.

Si en lugar de emplear datos diarios empleamos datos medios mensuales (lo que totaliza 60 pares de datos), los nuevos resultados del análisis de regresión son: a = 0,23; b= 0,47; que son muy si-

milares a los anteriores, aunque esta vez el coeficiente de correlación es sensiblemente inferior: r = 0,86.

RIETVELD (1978) ha relacionado las constantes a y b halladas por diversos autores en diferentes estaciones con la insolación relativa media de dichas estaciones, sugiriendo que estas relaciones podrían servir para estimar las constantes en lugares donde no se disponga de medidas de irradiación y se desee estimar ésta. Aprovechando esta idea, se ha intentado relacionar los valores mensuales de a y b con la correspondiente insolación relativa, lo que hubiera conducido a un mejor método de estimación de los valores mensuales de irradiación. No obstante el resultado ha sido negativo, pudiendo atribuirse al azar las diferencias observadas, que por otra parte no son grandes (las desviaciones típicas de los valores mensuales de los coeficientes a y b son, respectivamente, 0,02 y 0,04).

Los valores globales de los coeficientes sí encajan bastante bien con las relaciones halladas por RIETVELD, y son prácticamente iguales a los dados por BLACK *et al.* (1954) como media para el hemisferio norte (a = 0,23; b = 0,48), que fueron empleados por RASO (1980) para la estimación de la irradiación solar de Baleares. JANSA (1981) por su parte estimó la radiación en Menorca con la fórmula de Kimball: $G = G_d$ (0,29 + 0,71 (1–N)), y consideró que la irradiación en días despejados G_d es un 68% de la irradiación en ausencia de atmósfera G_0, lo que equivale a haber empleado una fórmula tipo Prescott con los coeficientes a = 0,20 y b = 0,48, que tampoco se separan mucho de los hallados para Palma.

CONCLUSION

Quedan pues revalidadas las anteriores estimaciones de la irradiación solar en Baleares, al tiempo que los datos reales aportados permiten un más exacto conocimiento de sus variaciones diaria y anual, conocimiento importante de cara a trabajos tanto en el campo de la Ecología como en el de la Ingeniería Energética.

BIBLIOGRAFIA

ANGSTROM A., 1924.– Solar and terrestrial radiation.– *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 50: 121.

BLACK J.N., BONYTHON C. PRESCOTT J.A., 1954.– Solar radiation and duration of sunshine.– *Q.J. Roy. Meteror. Soc.*, 80: 231.

JANSA A., 1981.– *La radiación solar total rebuda a Menorca.*– Consell Insular de Menorca; Publicacions menorquines, 1: 3-7.

KIMBALL H.H., 1919.– Variations in the total and luminous solar radiation with geographical position in the United States.– *Mon. Wea. Rev.,* 47: 769-793.

KONDRATYEV K.Y., 1969.– *Radiation in the Atmosphere.*– Ac. Press, 912 pp.

ONRUBIA J., MARTINEZ J.A., TEJERINA F., 1976.– Estudio alternativo del cálculo de la radiación solar sobre una superficie horizontal en el límite de la atmósfera.– *II asamblea nacional de Geodesia y Geofísica, 877-892.*

PRESCOTT J.A., 1940.– Evaporation from a water surface in relation to solar radiation.– *Trans. R. Soc. S. Austr.,* 64: 114-118.

RASO M., 1980.– El clima de Baleares.– *Resumen de Tesis Doctoral. Univ. de Barcelona.*

RIETVELD M.R., 1978.– A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine.– *Agr. Meteor.,* 19: 243-252.